

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-091701

(43)Date of publication of application : 06.04.2001

---

(51)Int.Cl. G02B 1/00  
G02B 5/04  
G02B 5/18  
G02B 5/28  
G02B 6/12

---

(21)Application number : 11-309804 (71)Applicant : KAWAKAMI SHOJIRO  
AUTOCLONING  
TECHNOLOGY:KK

(22)Date of filing : 25.09.1999 (72)Inventor : KAWAKAMI SHOJIRO  
ODERA YASUO  
SAKAI YOSHITAKE

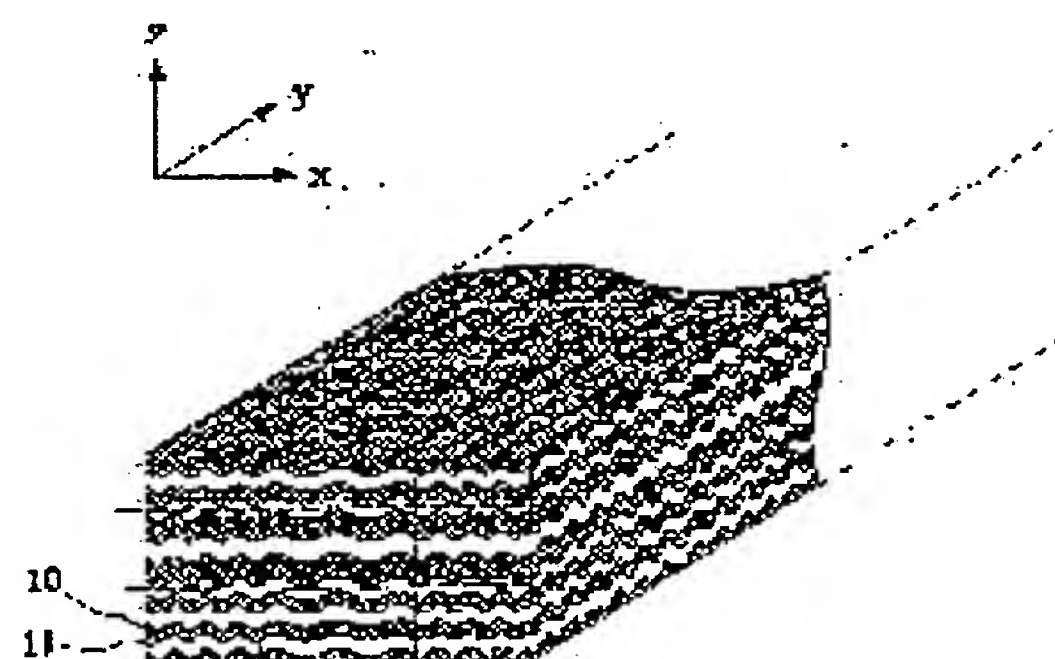
---

## (54) PHOTONIC CRYSTAL WITH MODULATED GRATING

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve such problems that the latitude for the design of an optical circuit is low and designing a circuit having less sensitivity to manufacture errors is difficult because of the conventional assumption that the basic periodical length and direction of the basic period in the structure of a photonic crystal as the structural material of optical circuit parts are basically constant in the plane or volume of the crystal on the analogy of a natural crystal such as a semiconductor.

SOLUTION: In a two-dimensional or three-dimensional photonic crystal having the feature that it is produced by depositing layers of substances on a substrate, the basic periodical length or the direction of the period of the crystal are not uniform in the relation of the position in the crystal, but are gradually varied or varied stepwise with the position and if necessary, varied in the perpendicular direction to the substrate. Namely, the crystal features a modulated grating. By this technique, wide latitude of processing and latitude of functions are obtained in photonic crystal optical circuit parts.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]	07.08.2001
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	
[Date of final disposal for application]	
[Patent number]	3766844
[Date of registration]	10.02.2006
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of extinction of right]	

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	チーコード <sup>*</sup> (参考)
G 0 2 B	1/00	G 0 2 B	2 H 0 4 2
	5/04		2 H 0 4 7
	5/18		2 H 0 4 8
	5/28		2 H 0 4 9
	6/12		N
審査請求 未請求 請求項の数12 書面 (全 10 頁)			

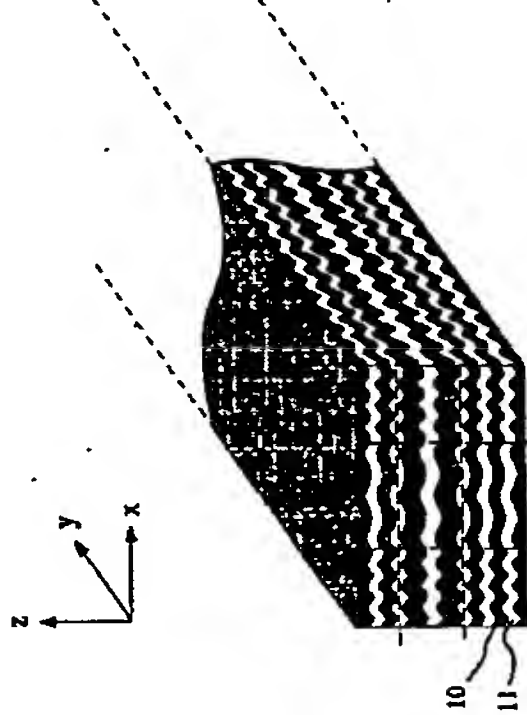
(21) 出願番号	特願平11－303804	(71) 出願人	391006566 川上 彰二郎
(22) 出願日	平成11年 9 月25日 (1999. 9. 25)		宮城県仙台市若林区土樋236番地 愛宕橋 マンシヨンフアラオC－09 599042599 有会社オートクロネーング・テクノロジ
		(71) 出願人	599042599 有会社オートクロネーング・テクノロジ
		(72) 発明者	川上 彰二郎 宮城県仙台市若林区土樋236番地 愛宕橋 マンシヨンフアラオC－09
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 格子変調フォトニック結晶

(57) 【要約】

【課題】 従来、光回路部品の構成材料としてのフォトニック結晶の構造は、半導体で代表される天然結晶とのアナロジーから、基本的な周期長、基本周期の方向が結晶の面内または体積内で基本的に一定であることが前提となっていた。このため光回路の設計の自由度は低く、作製認識に敏感でない回路を設計するのは困難であった。この問題を解決する。

【解決手段】 基板の上への物質の積層で作製されることを特徴とする2次元または3次元フォトニック結晶において、結晶の基本的な周期長や周期性の方向を、結晶中の位置に関し一様とせず、位置に関して徐々にまたは緩やかな階段状に変化させ、基板と垂直な方向にも必要により変化させること、即ち格子変調を特徴とする。この技術により、フォトニック結晶型光回路部品に広範な加工の自由度・機能の自由度を提供する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 二種以上の誘電体よりなる2次元または3次元周期構造体において、基本的な周期の方向の一つ以上が空間的に徐々に緩やかな階段状に変化している部分を少なくともその一部に含むことを特徴とする光機能素子

【請求項 2】 二種以上の誘電体よりなる2次元または3次元周期構造体において、基本的な周期の長さの一つ以上が空間的に徐々に緩やかな階段状に変化している部分を少なくともその一部に含むことを、自己クロネーング法を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能素子の作製方法

【請求項 3】 二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体において、基本的な周期の方向の一つ以上が空間的に徐々に緩やかな階段状に変化している部分を少なくともその一部に含むものを、自己クロネーング法を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能素子の作製方法

【請求項 4】 二種以上の誘電体よりなる3次元周期構造体において、基本的な周期の長さの一つ以上が空間的に徐々に緩やかな階段状に変化している部分を少なくともその一部に含む、使用波長域が当該構造の伝搬域に属することを特徴とする構造を、自己クロネーング法を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能構造の作製方法

【請求項 5】 二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体において、面内の基本的な周期の二つの方向の少なくとも一方で、基本的な周期の長さを空間的に徐々に緩やかな階段状に変化させることにより、面に交わる方向の光の透過率ないし反射率の波長依存性が面内で変化していることを特徴とする波長選択フィルタ

【請求項 6】 二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体において、面内の基本的な周期の二つの方向の少なくとも一方で、基本的な周期の長さを空間的に徐々に緩やかな階段状に変化させることにより、面に交わる方向の光の透過率ないし反射率の波長依存性が面内で変化していることを特徴とする光素子を自己クロネーング法を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする波長選択フィルタの作製方法

【請求項 7】 面内にそれぞれ二つある基本的な周期の長さと基本的な周期の方向のそれぞれ一つ以上が面内で空間的に徐々に緩やかな階段状に変化していることにより、同一構造中に異なるスーパージブリスム作用をもつ複数の領域があることを特徴とする2次元光導波路または板状3次元周期構造体または内部に面平行形の導波構造を持つ板状3次元周期構造体

【請求項 8】 面内にそれぞれ二つある基本的な周期の長さと基本的な周期の方向のそれぞれ一つ以上が面内で空間的に徐々に緩やかな階段状に変化していることにより、同一構造中に異なるスーパージブリスム作用をもつ複数の領域があることを特徴とする板状3次元周期構

造体または内部に面平行形の導波構造を持つ板状3次元周期構造体を、自己クロネーング効果を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能素子の作製方法

【請求項 9】 二種以上の誘電体よりなる2次元または3次元周期構造体において、光の進行する方向に交わる基本的な周期の方向の一つ以上において、基本的な周期の長さを空間的に徐々に緩やかな階段状に変化させることにより導波すべき領域を周囲の周期構造と異なる作用をもたせることを特徴とする光導波路

【請求項 10】 二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体において、光の進行する方向に交わる基本的な周期の方向の一つ以上において、基本的な周期の長さを空間的に徐々に緩やかな階段状に変化させることにより導波すべき領域を周囲の周期構造と異なる作用をもたせる光導波路を自己クロネーング効果を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能素子の作製方法

【請求項 11】 二種以上の誘電体よりなる2次元または板状3次元周期構造体で、面内の二つの基本的な周期の方向のうち、光の進行方向と垂直または角度をなすもの一つ以上が徐々に緩やかな階段状に変化していることにより光の曲がりを実現することを特徴とする面内光導波路およびリング状光共振器

【請求項 12】 二種以上の誘電体よりなる板状3次元周期構造体で、面内の二つの基本的な周期の方向のうち、光の進行方向と垂直または角度をなすもの一つ以上が徐々に緩やかな階段状に変化している面内光導波路およびリング状光共振器を厚さ方向に自己クロネーング効果を少なくともその一部において用いて作製することを特徴とする光機能素子の作製方法

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、2次元的または3次元的にほぼ周期的な構造をもつ光波帯回路素子およびその作製方法に関する。

【0002】

【従来技術】 本発明は、光波帯回路素子に関する応用の極めて広い技術に関するものであるため、本発明全体に対応する従来技術を見つけることは難しい。それゆえ、本発明の干渉型フィルタへの応用、プリズムへの応用、導波路への応用、曲がり導波路への応用のそれぞれに関する従来技術を説明する。

【0003】 誘電体多層膜に垂直または斜めに入射する光の干渉作用を利用する波長フィルタは重要な光学部品である。波長分割多重通信には波長幅1nm程度の狭帯域性が要求される。複数の波長を利用するので、別々に作製したフィルタをそれぞれの波長で用いる必要があり、システム価格の上昇を招く。また狭帯域のフィルタには高度な膜厚の制御が必要とされるので、製品の良品



μm程度までしか長くできないという問題点がある。また(3)の技術には、導波路を形成するために、フォトニック結品の成長を一時中断し、別のプロセスを施さなければならぬという問題点がある。

【0008】またフォトニック結品中の曲がり導波路については、Mekisらの前述の構造、原場らの擬2次元導波構造(T. Baba et al., "Observation of light propagation in photonic crystal optical waveguides with bends", Electronics Letters, vol. 35, no. 8, p. 654, 1999)が知られている。それぞれ90°の無損失折れ曲がり、60°の有限損失折れ曲がりを実現できることを示しているが、それらはいずれも折れ曲がり角における大きい反射が、それらはいずれも折れ曲がり角を小さくし戻り光の発生を避けられない。折れ曲がり角を小さくして反射を低減することも周期構造の制約上不可能である。

【0009】  
【発明が解決しようとする課題】基板上に作製され、フォトニック結品で構成される光素子において、基板面内に直交座標軸x,yを、それと直交する厚さ方向にz軸をとる。なおこの座標系は以下一貫して用いる。フォトニック結品の各部各節が示す局所的な平均的光学特性をx,y,zの関数として任意に制御することができれば、一つの基本技術によって急峻曲がりが可能、ないし高い分散性／ブリズム機能を持つ導波路や位置同期型の干渉型フィルタなど多種多様な光機能を実現することができる。本発明はこれらの課題に答えるものである。

【課題を解決するための手段】フォトニック結品を形成するもつとも標準的な方法は次の通りである。基板の上に2次元的に周期的に凹凸をリソングラフィおよびエッチングで作製する。その凹凸パターンは基本的には完全に周期的であり、導波路形成のためその中の数個の凹凸を除いたり、直線(線分、半直線を含む)の形やその組み合わせの形状の凹凸を除いたりすることがなされることがある(O. Hanaizumi et al., Applied Physics Letters, T. Baba et al., Electronics Letters, 前述)。いずれにおいても、周期構造における基本周期長や周期性の方向は基板面上で一様である。その基板の上に、2種類以上の誘電体を順次かつ周期的に積層し、各層に所望の凹凸パターンを持たせる。z方向の周期性を確保するために一層ごとにリソングラフィやエッチングを用いる方法(J. G. Fleming et al., "Three-dimensional photonic crystal with a stop band from 1.35 to 1.95 μm", Optics Letters, vol.

る。即ちB,Cを含む二つを取るか、あるいはB,C,ADの二つを基本的な周期に選んでもよい。要するに、空間全体で周期が一定であるか変化しているかに着目しているで、基本的な周期の方向、長さの定義にはある程度の幅がある。また、3次元フォトニック結品を作製する自己クロニング法、野田ら、Flemingらの前掲の方法に共通に、センチメートル級の基板上にマイクロメートル級の厚さの周期構造を形成するので、これらを板状フォトニック結品と総称することにする。板の面の中の方向を面内または面平行な方向、それに垂直な方向を面垂直方向とよぶこととする。

【0014】本発明の方法により獲得される光回路素子機能の自由度の広さを以下の実施例によって順次説明する。

【0015】

【実施例1】図3は本発明による、通過波長がx方向に連続的に変化する干渉フィルタの構成図である。このフィルタは、Si(屈折率n=3.5)とSiO<sub>2</sub>(n=1.5)2からなるフォトニック結品部分でSiO<sub>2</sub>基板3とSiO<sub>2</sub>板4とに挟まれた構造を持ち、自己クロニング法により形成され、y方向には一様な構造を持つ。交互多層膜部分はz方向にxによらず共通な周長L<sub>z</sub>を持つ。また一部のSi層の厚さを他のSi層に比べ厚く、具体的には0.9L<sub>z</sub>とし、キヤビティ5を形成している。x方向の周期L<sub>x</sub>は局所的に一定と見なされるが、xの広い範囲にわたっては徐々にまたは階段状に変化しており、x=X<sub>1</sub>ではL<sub>x</sub>=0.9L<sub>z</sub>、x=X<sub>1</sub>,X<sub>1</sub>,X<sub>1</sub>まではそれぞれL<sub>x</sub>=L<sub>z</sub>、1.1L<sub>z</sub>、1.2L<sub>z</sub>である。x-z断面におけるフォトニック結品の一周期内の形状を図4に示す。この例ではSi層1とSiO<sub>2</sub>層2の厚さはそれぞれ0.3L<sub>z</sub>、0.7L<sub>z</sub>である。電界がy軸に平行な光がz方向に入射したときのこの構造全体の光透過率を波長の関数として図5に示す。このように干渉フィルタの通過波長を空間的に変化させることは次のような利点を生む。

(1) 光通信用の複数の帯域フィルタにおいて、通過帯域が所望の間隔で配置される組み合わせを要する場合がある。本技術によれば、基板上に適切な間隔で複数の利用領域を選べば、1枚の基板上に一回の工程で所望のフィルタ群を形成することが容易にできる。

(2) 光通信において極めて狭い通過帯域を持つフィルタ(例えば比帯域幅=1/2000)が近年要求されている。このようなフィルタの作製においては不良品の割合が極めて高い。本技術を適用することによって、所定の波長に通過域を持つような基板上の適切な位置を選び出し確実に良品を得ることができる。

(3) 広帯域の光ビームを本技術による干渉フィルタ上でx方向に偏引することにより、通過波長が連続的に変化するので、それを分光計測用の光源として利用すること

とができる。  
【0016】また、図3は説明の便のためのものであつて、例えば上面図を図5に示すように長形パターンとし、基本周期長、基本周期を空間的に連続に変化させることにより、個々の単位周期を正方形に極めて近くして入射光の電界の向きによらぬ動作をさせることができる。このとき、利用される領域を図5中の長方形領域6のように限定してもよい。また図7のようにx方向の周期をy方向の周期とほぼ一致する範囲で変化させ、特性の偏光方向依存性を十分小さくすることもできる。

【0017】【実施例2】3次元フォトニック結晶においてはいわゆるスーパージズム効果が実験的に見出されており、この効果は理論的には2次元フォトニック結品でも3次元フォトニック結品でも生ずることが知られている。即ち、基板上に作製された3次元フォトニック結晶に、外部から光を基板に平行に入射させて、フォトニック結晶内にある屈折角を持って伝わる光としたとき、例えば光波長が1％だけ連続的に変わるとき屈折角を60°も連続的に変化させることができる。これは通常のプリズムよりも2〜3桁高い波長分散効果である。ゆえに光波長に敏感な合波分散子を得ることができる。

【0018】図4は本発明を上面が三角格子を持つスーパージズムに適用したものである。基板上に六角形または円形の孔を三角格子状に作製し、その上に屈折率の異なる2種類の誘電体を自己クロッシング法により交互に堆積して3次元フォトニック結晶を作製する。三角格子のx方向周期長はあるyの値の付近でほとんど一定で有限幅の光ビームに対しては局所的に一定周期構造として働くが、yの値と共にx方向周期長が徐々に変化する。格子変調のない従来のスーパージズム構造においては、プリズム効果のことも頻りに現れるのは比較的に狭い波長範囲に限られる。図5の構造においては、光ビームの入射位置を選択することにより、プリズム効果の顕著に現れる波長範囲の中心を連続的に選択することができ、一個の素子でシステムの中心波長の設計に柔軟性を与えることができると共に、作製技術の側からみると作製製造を光ビームの入射位置の選択により補償できる長所も持っている。即ちA付近に入射した光はλ。ーΔλからλ。の範囲で波長変化に敏感であり、B付近に入射した光はλ。からλ。+Δλの範囲で同じく敏感である。図5中の符号7、8、9はそれぞれ波長λ。ーΔλ、λ。、λ。+Δλの光線を示している。またzのある範囲に光を閉じ込める平板状の導波構造（後述）を併せ用いることにより、中心波長がy方向に連続的に変化している導波型スーパージズムを得ることができる。入出力側で他の光導波路と結合して用いるとき高い結合効率を得る。

【0019】【実施例3】図9には、本発明を3次元フォトニック結晶型導波路に適用した例を示す。同図にお

いて、10、11はそれぞれ高屈折率材料（例えばSi）、低屈折率材料（例えばSiO<sub>2</sub>）を示している。3次元フォトニック結晶の内側にチャネル形導波路を形成することの重要性はよく知られているが（例えばMe k i s他、前述2次元導波路、およびB a b a他、前述2次元導波路）、本例は（2）導波路のコア部分がフォトニック結晶の基本周期の数倍以上であること（3）プロセスの中断を要しない一貫作製プロセスにより形成可能であることの特徴を持っている点でも上に引用した2例とは全く異なる。図9の構造の導波作用の原理を、簡略化した図10の構造を用いて説明する。同図はSiO<sub>2</sub>（屈折率n<sub>1</sub>=1.5）12、TiO<sub>2</sub>（n<sub>2</sub>=2.5）13の2種類の誘電体の平坦膜をz方向に積層したもので、波長1.55μmにおいて用いられる平坦形導波路を表す。周期Λ c o r e = 0.427μmの3周期からなる中心部が図期Λ c l a d = 0.320μmのクラッド部に包まれたものである。仮想的にz方向にー∞から+∞まで周期Λ c o r eまたはΛ c l a dを持つ完全に周期的な構造を考えると、x方向に伝わる波の速度は、Λ c l a dを周期として持つ構造の方がもう一方より速く、電磁界はコア内に閉じ込められると予測される。

【0020】このような導波効果は、コアの厚さが周期長の数倍以上ある構造に適用されるものである。電磁界方程式を厳密に解いた結果は上の物理的イメージと一致し、図11の電界分布が得られる。界はコア内でもクラッド内でも局所的な基本周期に同期した細かいリップルを持ち、包絡線がコア内で振動的、クラッド内で減衰的である電界分布が得られる。コアの厚さが基本周期Λ c o r eの3倍である1.28μmのとき、その約3倍（約3μm）の1／e全幅を持つ基本モードがあることがわかる。このモードは大きいリップルをもちガウス形から遠いように一見されるが、それは正しくなく、ガウス型ビームとの整合性がよいことが検討すれば分かる。この結果と良く一致する実験結果が得られている。なおモードの実効屈折率は1.93である。図10、図9の中間として図12に示すように断面が2次元周期的でz方向には一様なチャネル導波路を得る。図9の導波路、図12の導波路は、（特開平10-335758、図28）の構造とは異なり、凹凸を持つ基板の上に、自己クロッシング法によって一貫プロセスにより中断や異種プロセスを挟むことなく作製することができる。例えば図9の構造は図13に示すような、凹み14を持つ基板15の上にSiとSiO<sub>2</sub>をそれぞれ分散入射スベクトリングないしスパッタエッチングを組み合わせて積層することにより作製された。

【0021】【実施例4】フォトニック結晶導波路において、急峻な曲りを低い放射損失と低い反射（光源への戻り光）を持って実現するのに、面内周期の方向を空間的に変調して、周期構造のもつ特性和滑らかな曲りと

を両立させる。即ち概略を図14に示す構造を自己クロッシング法により作製し用いた。

【0022】また図15に示すように3次元フォトニック結晶の中の曲りチャネル導波路を形成することもできる。このような曲り導波路において、フォトニック結晶の基本周期長は1μmの数分の1以下であり、光回路の小型化のために必要とされる曲り半径は10μmから100μm程度であるから、曲りの内側部と外側部の曲りに沿う方向の周期長さの差はさほど大きくない。また、図14、図15において曲りを急峻にしたとき外側へ放射が生ずる。放射に伴う損失を防ぐため、曲りの外側の部分において、半径方向の周期長さを他のクラッド部分の半径方向周期長より小さくした領域を付加して、その部分の実効屈折率を低下させることにより放射を抑圧することができる。

【0023】曲り導波路を平面内で巡らせてループを作りリング共振器を形成することができることは言うまでもない。本例では3次元フォトニック結晶について説明したが、2次元導波路で同じ考え方が適用できるのは勿論である。

【0024】

【発明の効果】請求項1、2、3、4により、フォトニック結晶の空間的に緩やかな格子変調を利用して巨視的・平均的な媒質定数に傾斜をもたせることができ光回路の設計自由度が大幅に増す。請求項5、6により透過波長に傾斜のあるフィルタが得られる。請求項7、8により位置により同調できるスーパージズムが得られる。請求項9、10、11、12により、作製が容易・光ファイバとの結合が容易・曲がりによる放射・反射がないフォトニック結晶形導波路が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 格子変調型周期構造の一例を示す説明図。

【図2】 格子変調型周期構造において、基本周期の取り方の例を示す説明図。

【図3】 第1の実施例である干渉フィルタの構造を示す説明図。

【図4】 第1の実施例である干渉フィルタを構成する周期構造の単位構造（ユニットセル）を示す説明

図。

【図5】 第1の実施例である干渉フィルタの透過スペクトルを示す説明図。

【図6】 第1の実施例である干渉フィルタの動作から、偏波依存性を除去する方法の一例を示す説明図。

【図7】 第1の実施例である干渉フィルタの動作から、偏波依存性を除去する方法の一例を示す説明図。

【図8】 第2の実施例であり、本発明をスーパージズムに適用した構造を示す説明図。

【図9】 第3の実施例であり、本発明を3次元フォトニック結晶型導波路に適用した構造を示す説明図。

【図10】 図9の構造を簡略化した導波路構造を示す説明図。

【図11】 図10の導波路構造における、導波モードの電界分布の数値計算例を示す説明図。

【図12】 図9の構造を簡略化したチャネル型導波構造を示す説明図。

【図13】 図9の導波路構造の作製に用いられる基板の形状の一例を示す説明図。

【図14】 第4の実施例である格子変調型曲がり導波路の構造を示す説明図。

【図15】 第4の実施例である3次元フォトニック結晶中の格子変調型曲がり導波路の構造を示す説明図。  
【符号の説明】

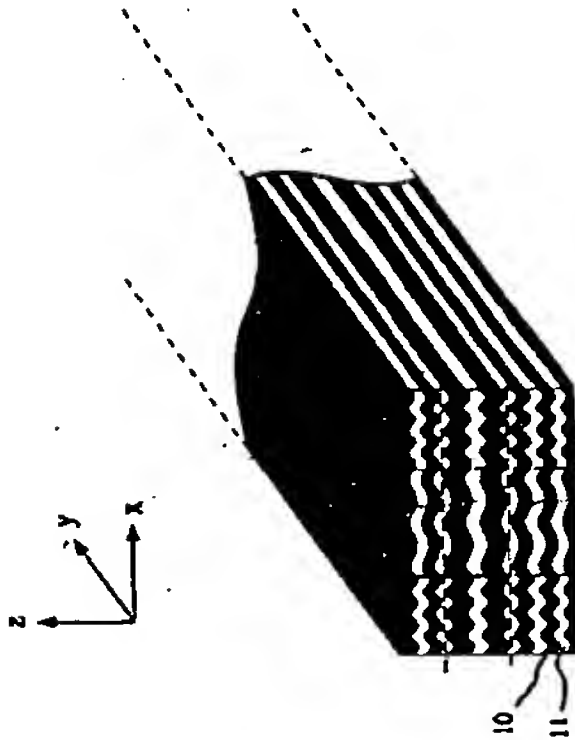
- |    |                              |
|----|------------------------------|
| 1  | Si                           |
| 2  | SiO <sub>2</sub>             |
| 3  | SiO <sub>2</sub> 基板          |
| 4  | SiO <sub>2</sub> 板           |
| 5  | キャビティ                        |
| 6  | 限定された利用領域                    |
| 7  | 波長λ。ーΔλの光線の軌跡                |
| 8  | 波長λ。の光線の軌跡                   |
| 9  | 波長λ。+Δλの光線の軌跡                |
| 10 | 高屈折率材料（例えばSi）                |
| 11 | 低屈折率材料（例えばSiO <sub>2</sub> ） |
| 12 | SiO <sub>2</sub>             |
| 13 | TiO <sub>2</sub>             |
| 14 | 基板上の孔                        |
| 15 | 基板                           |



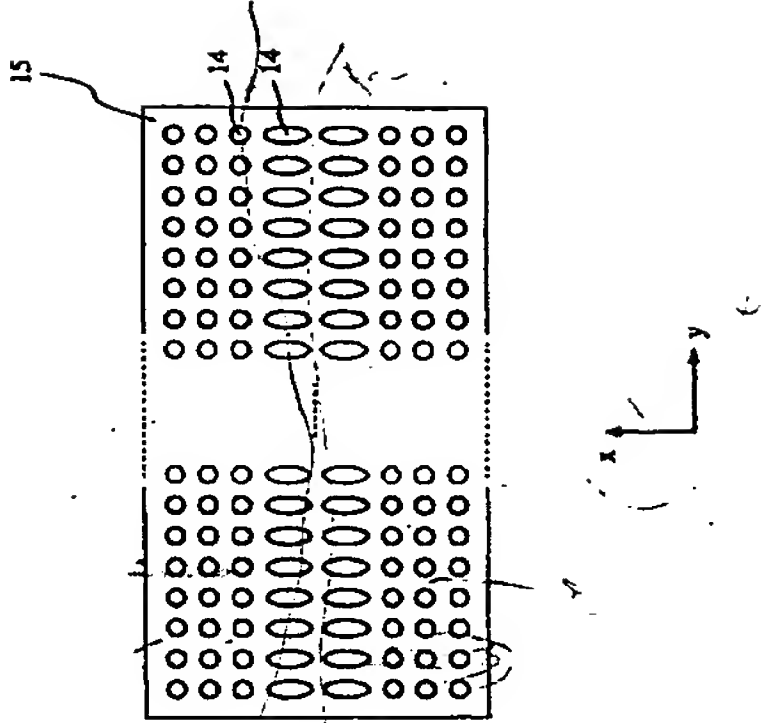


Fターム(参考) 2H042 CA07  
2H047 KA02 KA08 KA11 KA12 PA01  
QA04 TA00 TA43  
2H048 GA13 GA62  
2H049 AA37 AA59 AA62

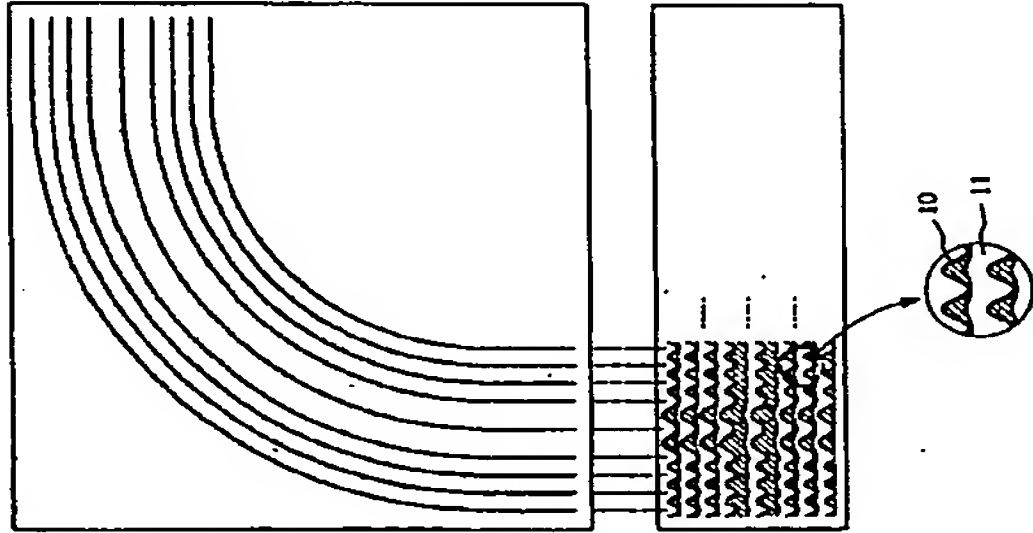
【図12】



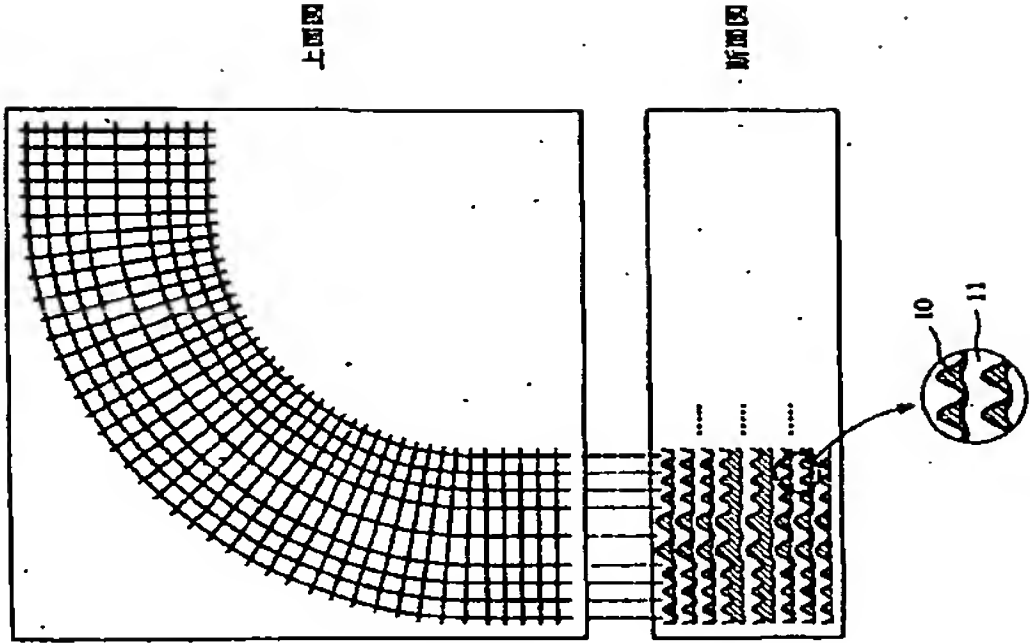
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(72)発明者 大寺 康夫  
宮城県仙台市青葉区土樋1丁目6番15号  
コーポ金子201号

(72)発明者 酒井 義剛  
宮城県仙台市青葉区八幡6丁目1番2号  
瀬音ハウス103号

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**